



photo C. Crouzet

Août 2013

Les 42 parcelles de l'Inra de Versailles depuis 1928 : une expérimentation de longue durée, unique au monde

Cadre historique

Le dispositif des '42 parcelles' a été créé en 1928 à l'instigation d'Albert Demolon à la "Station Centrale d'Agronomie". Il est situé au sein du parc du Château de Versailles à "l'Étoile de Choisy". Dans le contexte historique difficile de l'après-guerre, de gros efforts étaient nécessaires pour relancer la production agricole, notamment par l'introduction d'engrais chimiques. Ainsi, 42 parcelles de 2 × 2,5 m ont été dessinées : 16 traitements dupliqués, et 10 parcelles sans traitement, dites de référence, (cf. Plan expérimental). L'objectif était de "...déterminer les effets de l'application prolongée des principaux types d'engrais et d'amendements calcaires sur la composition et les propriétés physiques des sols de limons..." (Burgevin et Hénin, 1939). Les impacts des traitements ont été suivis dans le temps sur l'acidité (pH), la réactivité des sols (capacité d'échange, garniture cationique) et sur les propriétés physiques (stabilité de la structure, porosité, capacité de rétention en eau).

L'expérimentation est menée en sol maintenu sans végétation afin d'exacerber les impacts chimiques sur les propriétés des sols limoneux (Néoluvisols sur loess) représentatifs des grandes régions agricoles du bassin Parisien et du Nord de la France. Les contraintes annuelles imposées sont des doses fixes d'engrais et d'amendements, le bêchage deux fois par an (printemps, automne) sur 25 cm, et l'échantillonnage des parcelles (500 –

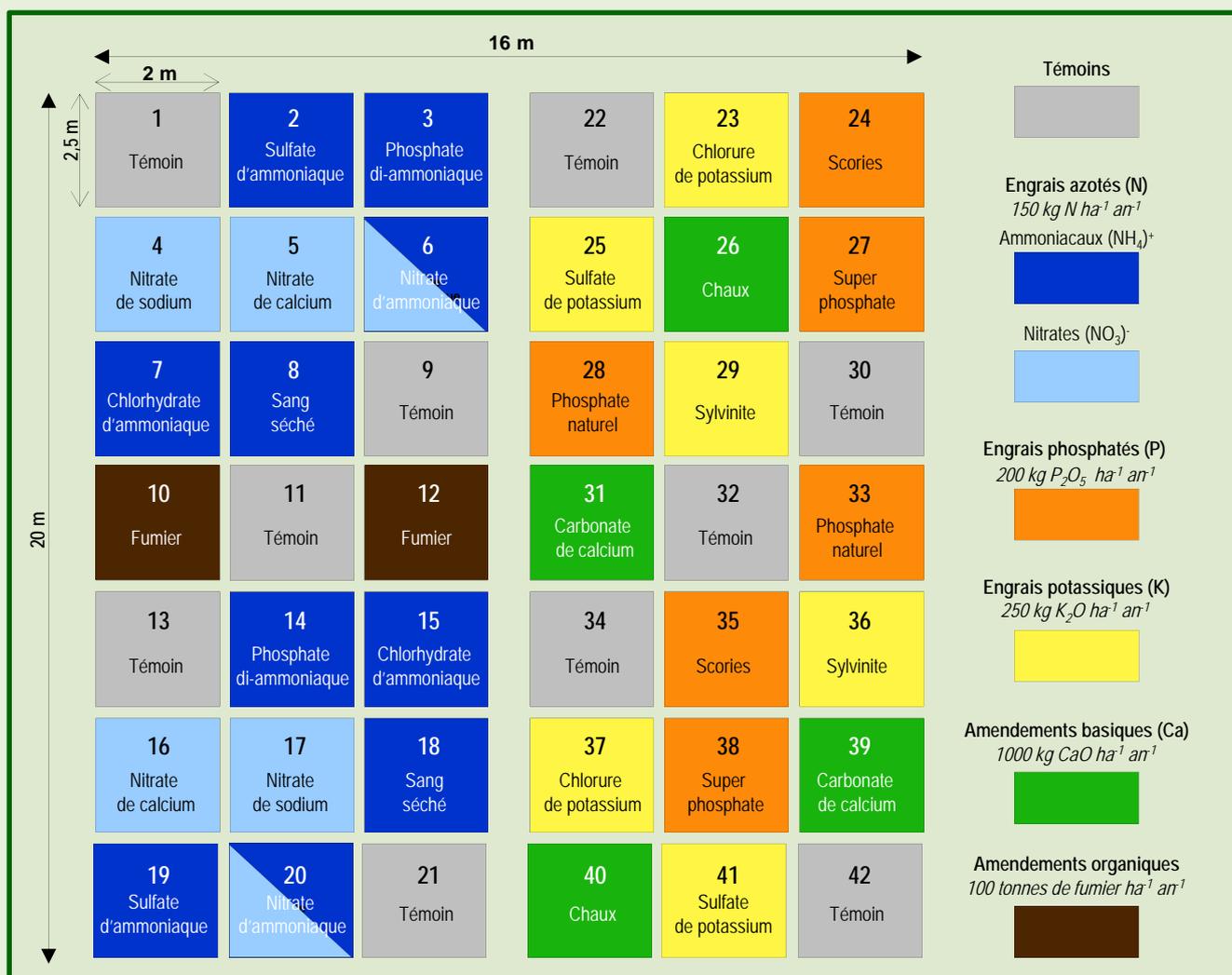
1000 g) sur un rythme de 5 fois/an de 1929 à 1942, 2 fois/an de 1943 à 1950, 1 fois/an de 1951 à 1968 et depuis, 1 fois tous les 2 à 4 ans. Les échantillons sont séchés, broyés et archivés.

Au cours des premières décennies, l'essentiel des résultats des recherches portant sur les engrais N, P, et K a été publié dans les '*Annales Agronomiques*' et les '*Recherches sur la Fertilisation par les Stations Agronomiques*'.

Mais le rôle de ce dispositif, dévolu initialement à une recherche agronomique productiviste, s'est diversifié depuis les années 1980 vers des recherches à caractère plus "environnemental". Il s'agit de tirer bénéfice de la grande variabilité des propriétés physicochimiques des sols à la suite de l'apport continu d'intrants chimiques. Avec sa collection d'échantillons archivés depuis 1929, cet essai de longue durée en sol nu est aujourd'hui unique au monde avec une grande valeur patrimoniale pour la recherche. Le dispositif reçoit chaque année de nombreux visiteurs, du monde de la recherche ou des entreprises, mais aussi de l'enseignement primaire et secondaire.

En 2013, à l'aube de ses 85 ans, le dispositif a été rénové. Ce texte présente le plan expérimental et la collection historique d'échantillons ainsi que quelques résultats marquants de l'évolution spectaculaire des propriétés des sols. Le rôle du dispositif comme enregistreur des accumulations d'éléments polluants est illustré, et quelques pistes de recherches futures sont brièvement évoquées.

Plan experimental et traitements chimiques



Gestion de la collection historique d'échantillons

Au total, environ 2500 échantillons ont été archivés depuis le début de l'expérimentation en 1928. Plusieurs projets de recherches nationaux et internationaux font aujourd'hui appel à des échantillons, récents ou historiques, afin de mener des études chronologiques en relation avec les différents types d'apports chimiques. Ils mettent à profit les contrastes d'ambiances physicochimiques induites, par exemple pour tester la mise au point d'approches méthodologiques. Toutefois, la taille modeste des parcelles oblige à une gestion stricte des échantillons, notamment ceux des premières années de l'expérimentation.



photo F. van Oort

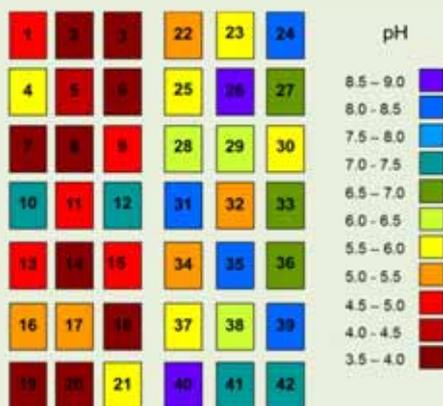
Contact : Inra, UR 251 Pessac, Centre de Versailles-Grignon, RD-10, 78026 Versailles Cedex, France
 Folkert van Oort : Mail : vanoort@versailles.inra.fr, Tel. 01 30 83 32 51 ; Fax : 01 30 83 32 59

Résultats marquants (1) : impacts des traitements chimiques sur les propriétés des sols

L'essai des 42 parcelles permet de quantifier les amplitudes de changements de propriétés des sols sous la contrainte de traitements chimiques prolongés, ou au contraire sans apport aucun, et de préciser leurs vitesses. Il offre une très large gamme de conditions physico-chimiques et permet des comparaisons pertinentes avec de 'vraies' parcelles témoins, car toutes les parcelles représentent des évolutions (*phénoformes*) issus d'un même sol initial (*génoforme*) : le Néoluvisol sur limon éolien de 1928.

N.B. Ci-après, les couleurs dans les graphs correspondent aux couleurs des traitements dans le plan expérimental (sauf pH).

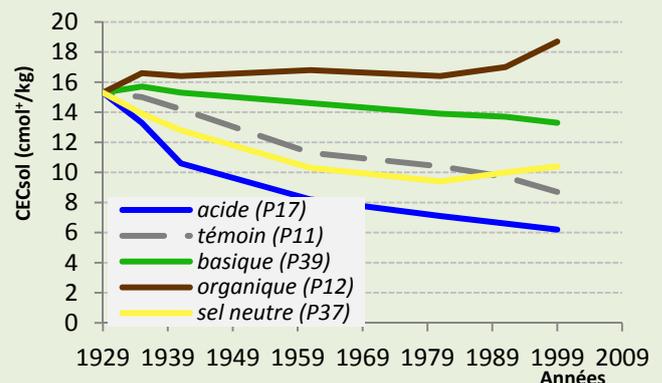
acidité des sols (pH), t = 80 ans



- baisse en 80 ans d'une unité de pH par seul effet des conditions climatiques (parcelles témoins)
- variabilité de plus de 5 unités de pH en réaction aux différents types de fertilisations et amendements : de pH 3,2 (phosphate d'ammoniaque) à pH 8,7 (chaux, carbonate)

Prélèvements de 2008. *Paradelo et al. (Geoderma, 2013)*

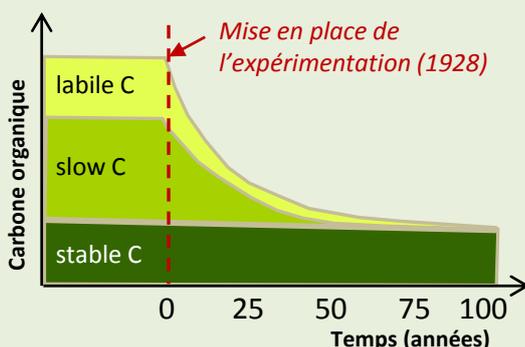
complexe d'échange (CEC), t = 70 ans



- baisse de 50% dans les parcelles 'ammoniacales' ; le taux d'Al échangeable peut atteindre plus de 90%
- baisse de 40% dans les parcelles témoins, avec un taux d'Al échangeable > 25%
- peu de changements dans les parcelles basiques, mais forte augmentation dans les parcelles 'fumier'
- la baisse de la CEC s'explique par l'évolution des argiles (dissolution ou illitisation des smectites)

Prélèvements de 1999. *A. Pernes-Debuyser (Thèse, 2003)*

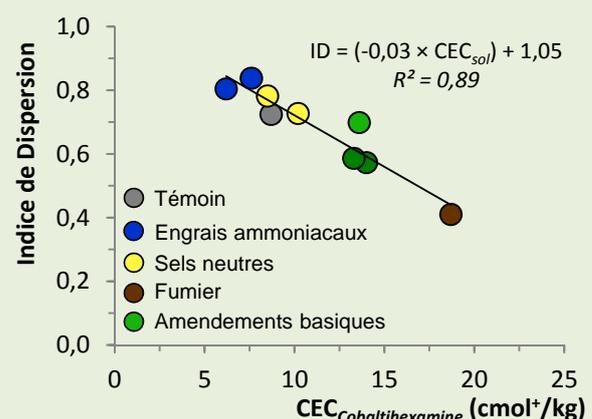
matières organiques des sols, t = 80 ans



- baisse de la teneur en C organique (CO) dans toutes les parcelles (sauf fumier) : jusqu'à 65% du C original
- en l'absence d'apports organiques, le C du sol est essentiellement composé aujourd'hui de C 'stable', à turn-over long (décennies, siècles)
- en 2008, la minéralisation du CO est plus sensible à la température que dans les échantillons initiaux : le CO 'stable' est plus sensible au réchauffement climatique

Barré et al. (Biogeosci, 2010), Lefèvre et al. (GCB, 2013).

propriétés physiques et structure, t = 70 ans

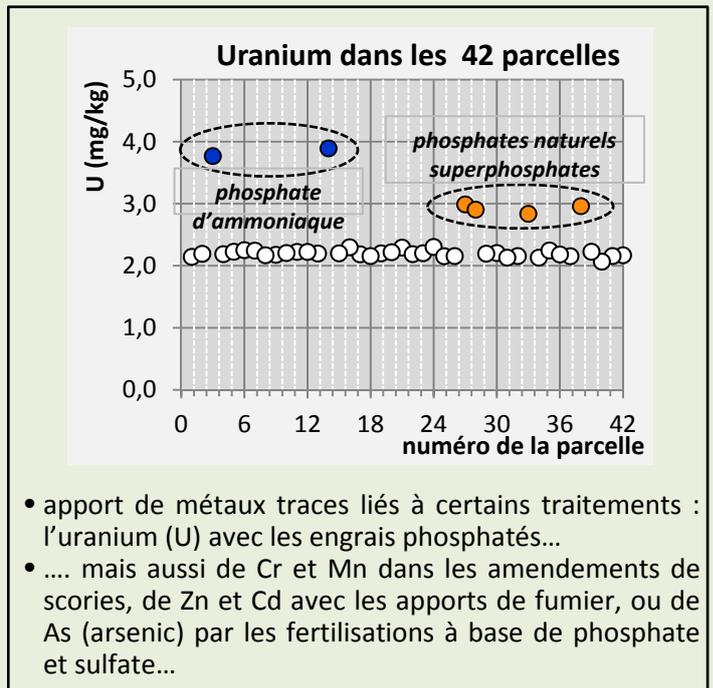
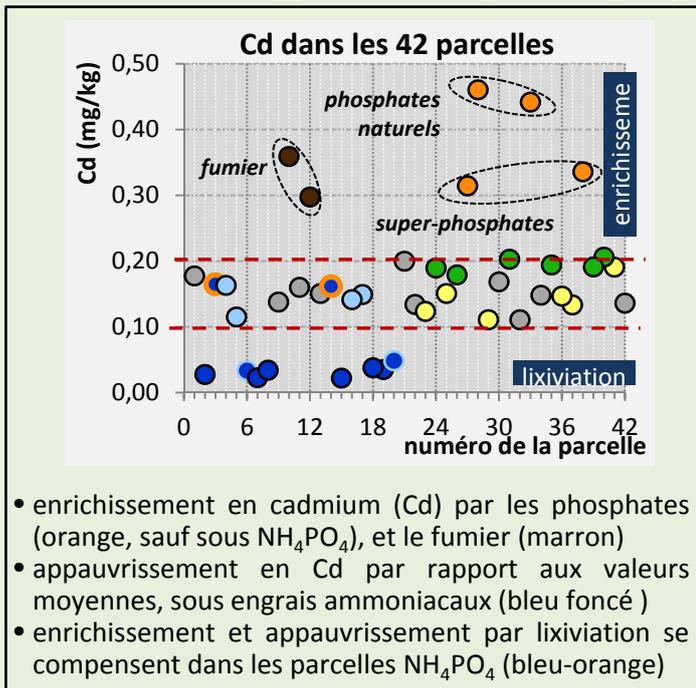


- indice de dispersion faible sous apports de fumier et basiques ('stables'), élevé sous engrais ammoniacaux : cause des états de surface contrastés après la pluie
- la CEC est un bon indicateur physicochimique de la différenciation physique (vitesse de réhumectation, hydrophobicité, dispersibilité, stabilité structurale)

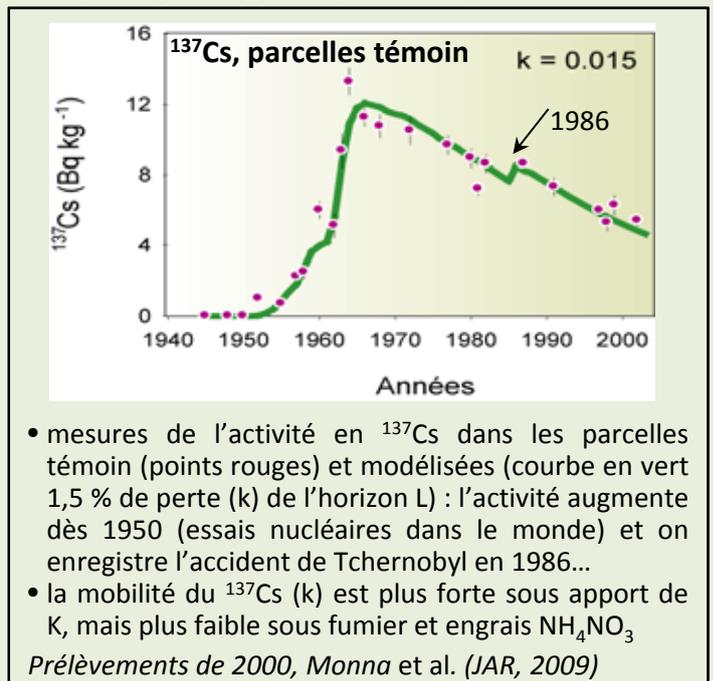
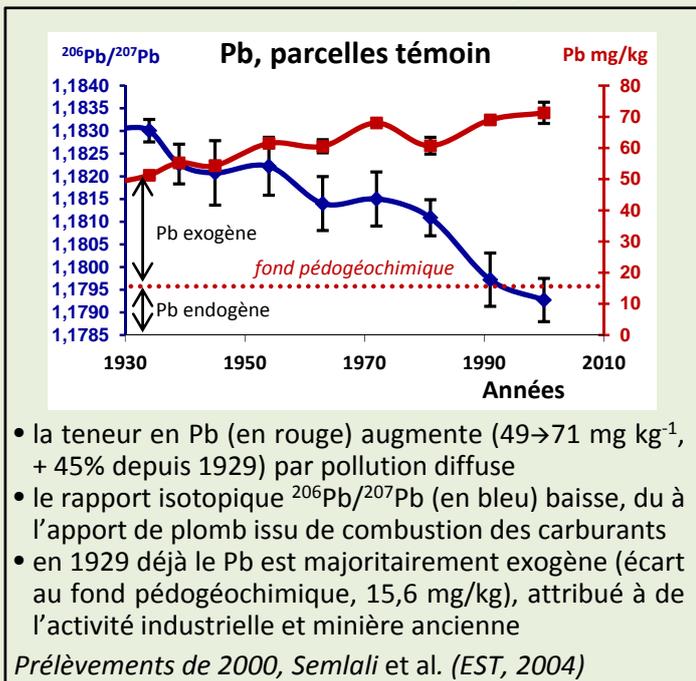
Pernes-Debuyser & Tessier (EJSS, 2004).

Résultats marquants (2) : rôle d'enregistrement d'accumulations d'éléments polluants

➤ apports de micropolluants par fertilisations et amendements (t = 80 ans)



➤ Contaminations par retombées atmosphériques diffuses (t = 70 ans)



Perspectives. Les recherches sur la nature, la localisation et la stabilité du carbone organique sont poursuivies dans le cadre du réseau européen (CARBOSOIL). Le dispositif des 42 parcelles est le support de projets en cours d'élaborations, tels la modélisation sur le long terme de l'écodynamique des polluants et de la matière organique et les relations avec les communautés microbiennes associées (indicateurs fonctionnels et structuraux).

Une campagne globale d'analyses de l'ensemble des 42 parcelles est prévue en 2014, à l'occasion des 85 ans, devant déboucher sur la réalisation d'un ouvrage de synthèse. L'avenir à court terme de l'essai des 42 parcelles à Versailles est donc assuré. Cependant, le futur à moyen terme est moins visible dans un contexte de déménagement de l'unité avec la création du futur Campus scientifique 'Paris-Saclay'.

Publications, 1929 – 1989

• recherches sur les engrais et amendements

a) engrais phosphatés

- **Barbier G, Marquis A.** 1944. Sur l'évolution des engrais phosphatés en sol nu et leur destin en sol cultivé. *Annales Agronomiques*, **14**:409–424.
- **Barbier G, Chabannes J, Miallet P.** 1946. Absorption des ions phosphoriques à la surface des colloïdes argileux par l'intermédiaire des alcalino-terreux. *Annales Agronomiques*, **16**:7–33.
- **Barbier G, Chabannes J, Marquis A.** 1948. Utilisation des engrais phosphatés par les plantes, après leur absorption dans le sol. *Plant and Soil*, **1**:11–17.
- **Barbier G, Chabannes J.** 1949. Sur le mécanisme de l'adsorption des phosphates par divers constituants des argiles des sols. *Annales Agronomiques*, **19**:343–379.
- **Trockmé S, Barbier G.** 1949. Sur la vitesse de décomposition dans le sol des scories de déphosphoration. *Annales Agronomiques*, **19**:261–270.
- **Demolon A, Boischot P, Lajon J.** 1953. Réaction des divers sols à l'apport des engrais phosphatés solubles, son importance dans l'établissement des fumures. *Annales Agronomiques*, **23**:291–330.
- **Barbier G, Lesaint M, Tyszkiewicz E.** 1954. Recherches, au moyen d'isotopes, sur les phénomènes d'autodiffusion dans le sol, et sur l'alimentation des plantes. *Annales Agronomiques*, **24**:923–959.
- **Barbier G, Bilas J, Boniface R.** 1965. Contribution à l'étude de l'influence du pH sur la mobilité des ions phosphoriques du sol. *Annales Agronomiques*, **16**:603–6023.
- **Blanchet R.** 1959. Energie d'adsorption des ions par les colloïdes du sol et nutrition minérale des plantes. *Annales Agronomiques*, **29**:125–154.
- **Fardeau JC, Marini P.** 1971. Etude par échange isotopique de la transformation dans un sol sans végétation de divers engrais phosphatés après 35 applications annuelles. *Annales Agronomiques*, **22**:113–125.

b) engrais potassiques, sodiques

- **Chaminade R.** 1936. La rétrogradation du potassium dans les sols. *Annales Agronomiques*, **6**:813–830.
- **Drouineau G.** 1936. Etude du comportement du sodium échangeable dans un sol de limon. sans végétation. *Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Sol*, **2**:121–124.
- **Gouère P.** 1944. Evolution des engrais potassiques dans le sol, son influence sur leur utilisation par les plantes. *Annales Agronomiques*, **14**:425–433.
- **Barbier G, Chabannes J, Durroux M.** 1948. Retour spontané à l'état mobile, dans le sols, de la fraction dite rétrogradée des engrais phosphatés et potassiques. *Annales Agronomiques*, **18**:523–527.

c) engrais azotés et matières organiques

- **Simon-Sylvestre G.** 1949. Evolution comparée du soufre, de l'azote et du carbone pendant 30 ans dans un sol maintenu sans végétation. *Agrochimica*, **9**:183–188.
- **Chaminade R.** 1971. Recherches sur la rétrogradation de l'ion ammonium. *Annales Agronomiques*, **22**:343–361.

• impacts des apports d'engrais et d'amendements sur les propriétés des sols

- **Burgevin H, Hénin S.** 1939. Dix années d'expériences sur l'action des engrais sur la composition et les propriétés d'un sol de limon. *Annales Agronomiques*, **9**:771–799.
- **Chabannes J, Barbier G.** 1950. Observation sur le microdosage de l'aluminium : application à l'étude de l'alumine dite libre des sols. *Annales Agronomiques*, **20**:1–9.
- **Boiffin J, Sebillote M.** 1976. Climat, stabilité structurale et battance. Essai d'analyse d'un comportement du sol au champ. *Annales Agronomiques*, **27**:295–325.
- **Tauzin J, Juste C.** 1986. Effets de l'application à long terme de diverses matières fertilisantes sur l'enrichissement en métaux lourds de parcelles nues. *Rapport Ministère de l'Environnement (Convention n° 4193)*, 76p.
- **Juste C, Tauzin J.** 1986. Evolution du contenu en métaux lourds d'un sol de limon maintenu en jachère nue après 56 années d'application continue de divers engrais et amendements. *C. R. à l'Académie d'Agriculture Française*, **72**:739–746.
- **Bresson LM, Boiffin J.** 1990. Morphological characterization of soil crust development stages on an experimental field. *Geoderma*, **47**:301–325.
- **Veneau G, Rousseau-Djabri MF, Robert M.** 1996. Suivi de l'évolution des sols à long terme (1929 – 1992) : Le dispositif des 42 parcelles de Versailles. Rapport Interne, Inra, Unité de Science du sol, Versailles, 112p.

Publications, 2000 – 2013

• **impacts des traitements sur les propriétés physicochimiques**

- **Pernes-Debuyser A, Tessier D.** 2002. Influence de matières fertilisantes sur les propriétés des sols : cas des 42 parcelles de l'INRA à Versailles. *Etude et Gestion des Sols*, **9**:177–186.
- **Pernes-Debuyser A, Tessier D.** 2002. Influence du pH sur les propriétés des sols : l'essai de longue durée des 42 parcelles à Versailles. *Revue des Sciences de l'Eau*, **15**:27–39.
- **Pernes Debuyser A.** 2003. *Différenciation des propriétés du sol par des apports d'engrais et d'amendements. Cas de l'essai de longue durée des 42 parcelles (Versailles)*. Thèse de l'Université de Bourgogne, 150p.

• **effets des traitement sur l'évolution des propriétés physiques et la minéralogie**

- **Pernes-Debuyser A, Pernes M, Velde B, Tessier D.** 2003. Soil mineralogy evolution in the INRA 42 plots experiment (Versailles, France). *Clays and Clay Minerals*, **51**:578–585.
- **Pernes-Debuyser A, Tessier D.** 2004. Soil physical properties affected by long-term fertilization. *European Journal of Soil Science*, **55**:505–512.
- **Chaplain V, Défossez P, Delarue G, Roger-Estrade J, Dexter AR, Richard G, Tessier D.** 2011. Impact of lime and mineral fertilizers on mechanical strength for various soil pHs. *Geoderma*, **167-168**:360–368.
- **Paradelo R, van Oort F, Chenu C.** 2013. Water dispersible clay in bare fallow soils after 80 years of continuous fertilizers addition. *Geoderma*, **200-201**:40–44.

• **évolution des matières organiques : quantité, nature, localisation et stabilité**

- **Balabane M, Plante AF.** 2004. Aggregation and carbon storage in silty soil using physical fractionation techniques. *European Journal of Soil Science*, **55**:415–427.
- **Bol R, Ostle NJ, Chenu, C, Petzke KJ, Werner RA, Balesdent J.** 2004. Long term changes in the distribution and $\delta^{15}\text{N}$ values of individual soil amino acids in the absence of plant and fertilizers inputs. *Isotopes Environ. Health Stud.*, **40**:243–256.
- **Plante AF, Chenu, C, Balabane M, Mariotti, A, Righi D.** 2004. Peroxide oxidation of clay-associated organic matter in a cultivation chronosequence. *European Journal of Soil Science*, **55**:471–478.
- **Plante AF, Pernes M, Chenu C.** 2005. Changes in clay-associated organic matter quality in a C depletion sequence as measured by differential thermal analyses. *Geoderma*, **129**:186–199.
- **Bol R, Ostle NJ, Petzke KJ, Chenu C, Balesdent J.** 2008. Amino acid ^{15}N in long-term bare fallow soils: influence of annual N fertilizer and manure applications. *European Journal of Soil Science*, **59**:617–629.
- **Barré P, Eglin T, Christensen BT, Ciais P, Houot S, Kätterer T, van Oort F, Peylin P, Poulton PR, Romanenkov V, Chenu C.** 2010. Quantifying and isolating stable carbon using long-term bare fallow experiments. *Biogeosciences*, **7**:3839–3850.
- **Guenet B, Leloup J, Raynaud X, Bardoux G, Abbadie L.** 2010. Negative priming effect on mineralization in a soil free of vegetation for 80 years. *European Journal of Soil Science*, **61**:384–391.
- **Guenet B, Juarez S, Bardoux G, Pouteau V, Cheviron N, Marraud C, Abbadie L, Chenu C.** 2011. Metabolic capacities of microorganisms from a long-term bare fallow. *Applied Soil Ecology*, **51**:87–93.
- **Guenet B, Juarez S, Bardoux G, Abbadie L, Chenu C.** 2012. Evidence that stable C is as vulnerable to priming effects as is more labile C in soil. *Soil Biology & Biochemistry*, **52**:43–48.
- **Lutfalla S, Chenu C, Barré P.** 2013. Are chemical oxidation methods relevant to isolate a stable pool of centennial carbon? Using soils from a long term bare fallow to answer this question. *Biogeochemistry*, DOI: 10.1007/s10533-013-9910-9
- **Lefèvre R, Barré P, Moyano FE, Christensen BT, Bardoux G, Eglin T, Girardin C, Houot S, Kätterer T, van Oort F, Chenu C.** 2013. Higher temperature sensitivity for stable than for labile soil organic carbon - Evidence from incubations of long-term bare fallow soils. *Global Change Biology*, DOI:101111/gbc.12402.

• **accumulation et devenir de micropolluants minéraux et organiques**

- **Semlali RM, Dessogne JB, Monna F, Bolte J, Azimi S, Denaix L, Loubet M, van Oort F.** 2004. Modeling lead input and output in soils by using lead isotopic geochemistry. *Environmental Science & Technology*, **38**:1513–1521.
- **Chaplain V, Brault A, Tessier D, Défossez P.** 2008. Soil hydrophobicity: a contribution of diuron sorption experiments. *European Journal of Soil Science*, **59**:1202–1208.
- **Mamy L, Vrignaud P, Cheviron N, Perreau F, Belkacem M, Brault A, Breuil S, Delarue G, Pétraud JP, Touton I, Mougin C, Chaplain V,** 2011. No evidence for the effect of soil compaction on the degradation and impact of isoproturon. *Environmental Chemistry Letters*, **9**:145–150.
- **Monna F, van Oort F, Hubert P, Dominik J, Bolte J, Loizeau JL, Labanowski J, Lamri J, Petit C, Le Roux G, Château C.** 2009. Modelling of ^{137}Cs migration in soils using an 80-years soil archive. Role of fertilizers and agricultural amendments. *Journal of Environmental Radioactivity*, **100**:9–16.